

Les risques naturels : que fait la recherche ?



>>> Daniel GUEDALIA, directeur de recherche émérite CNRS au Laboratoire d'Aérodynamique (unité mixte UPS/CNRS)

Les catastrophes naturelles sont inévitables. Mais, grâce à la recherche, notamment celle menée à Toulouse, ses dégâts peuvent être limités.

On estime que les catastrophes naturelles ont causé en 2008 la mort de 220 000 personnes et provoqué des dégâts évalués à près de 140 milliards d'euros, au niveau mondial.

Une partie significative de ces catastrophes se produisent dans des zones à forte densité de population et conduisent à la destruction d'infrastructures vitales.

Les principales catastrophes naturelles peuvent être d'origine géophysique (séismes, tsunamis, volcanisme) ou météorologiques (tempêtes, cyclones, inondations, foudre).

Vis-à-vis des risques naturels, l'objectif de la recherche est tout d'abord de mieux comprendre les processus qui sont à l'origine de ces catastrophes. Cette meilleure connaissance permet ensuite soit de construire des modèles numériques et d'améliorer ainsi la prévision pour les populations ou les décideurs (c'est le cas en particulier des risques météorologiques), soit de mieux protéger les populations et les biens par des normes de nature permanente (c'est le cas des risques sismiques et de l'adéquation des protections parasismiques, par exemple).

Plusieurs équipes de chercheurs de l'université Paul Sabatier contribuent à cet effort de compréhension des processus naturels pouvant conduire à des catastrophes majeures. On peut citer en particulier :

- les équipes du Laboratoire d'Aérodynamique engagées dans l'étude des phénomènes météorologiques de moyenne échelle. Ces équipes ont apporté des avancées significatives dans la connaissance des processus conduisant à des événements extrêmes. On peut citer les études sur les précipitations intenses induisant des inondations de graves conséquences pour les personnes et les biens ; des études sur

l'électricité atmosphérique qui ont permis de mieux connaître les processus de production de la foudre par les nuages convectifs d'orage ; des études sur la météorologie tropicale, siège d'événements très énergétiques (lignes de grain, cyclones,...). La plupart de ces recherches se font en étroite collaboration avec les équipes de recherche toulousaines de Météo-France.

- Une équipe du Laboratoire « Dynamique terrestre et planétaire », spécialisée dans les études sismiques. Cette équipe qui a en charge le réseau de surveillance sismique des Pyrénées est reconnue pour la qualité des études des phénomènes sismiques en relation avec la géophysique interne de notre planète. Elle a aussi implanté un réseau d'accéléromètres dans les Pyrénées qui permet d'apporter une aide importante à la définition de zones sensibles.

- Une équipe du Laboratoire d'étude des mécanismes de transfert en géologie (LMTG) qui a réussi à identifier les raisons de certains glissements de terrain en étudiant la morphologie des argiles.

On présente dans ce dossier quelques uns de ces résultats, dont l'importance pour la prévision des risques naturels est essentielle.

Contact : daniel.guedalia@aero.obs-mip.fr

DOSSIER

Quel est le risque d'un fort séisme dans les Pyrénées ?

A côté du réseau sismique « classique » des Pyrénées, l'installation d'accéléromètres permet d'identifier les zones à risques en milieu urbain et par conséquent de mieux concevoir les techniques parasismiques des bâtiments

Les Pyrénées sont la région la plus sismique de France métropolitaine. Bien que cette sismicité reste modérée par rapport à d'autres pays du bassin méditerranéen, elle justifie une surveillance permanente, grâce à un réseau transfrontalier d'une quarantaine de stations. Pour le versant français, c'est le RSSP (Réseau de Surveillance Sismique des Pyrénées) qui assure au jour le jour le suivi de la sismicité et informe les services de la préfecture en cas de séisme ressenti. Le réseau de surveillance permet la localisation d'environ 800 séismes par an dans les Pyrénées, avec une incertitude inférieure au kilomètre. C'est donc le principal outil pour l'identification des failles actives, conjointement aux méthodes géologiques et tectoniques. Le plus gros séisme enregistré au cours des 40 dernières années est celui de Saint-Paul-de-Fenouillet en 1996, avec une magnitude de 5.3.

Lourdes pertes humaines

La sismicité historique, bien connue depuis le Moyen Age grâce aux écrits anciens, révèle que de forts séismes destructeurs, de magnitude probable pouvant atteindre 6.4 (donc plus de 30 fois plus énergétiques que le séisme de Saint-Paul), se sont produits tout au long de la chaîne pyrénéenne: en 1373 dans la Ribagorza, en 1427-28 en Catalogne espagnole, en 1660 et 1750 en Bigorre, en 1923 sous la Maladeta, en 1967 dans le Béarn (séisme d'Arette). Ces séismes provoquent de fortes accélérations du sol qui sont à l'origine de destructions de bâtiments, et dans certains cas de lourdes pertes humaines (700 morts en 1428, 30 en 1660). Une bonne connaissance des accélérations du sol et de la réponse des bâtiments à ces sollicitations est donc capitale pour l'évaluation du risque sismique. A partir de 1996, avec l'aide du Ministère de l'écologie un réseau accélérométrique permanent, le RAP, a été déployé dans les régions sismiques de France. Vingt stations ont été installées dans les Pyrénées françaises, dont le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) se partagent la responsabilité.

Contrairement aux stations de surveillance, installées dans des sites très calmes pour pouvoir détecter les faibles secousses, les stations accélérométriques sont généralement installées dans les villes, là où le risque est le plus élevé, et sont dévolues à l'étude des mouvements forts. Les enregistrements accélérométriques permettent de déterminer avec précision les magnitudes, les lois d'atténuation (c'est-à-dire la façon dont les ondes s'atténuent avec la distance au foyer), et permettent donc d'évaluer des cartes de secousses attendues en cas de gros séisme. Ils permettent aussi, grâce à des modélisations numériques, de simuler les accélérations produites par les séismes historiques. Les enregistrements accélérométriques sont donc des données importantes pour la définition d'une réglementation parasismique adaptée à chaque région.

Immeuble instrumenté

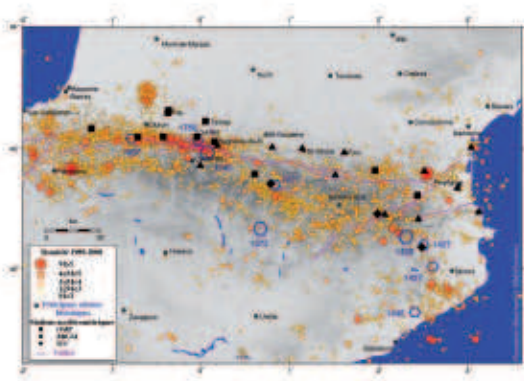
Un autre facteur intervient dans l'évaluation des accélérations : c'est l'effet de site, c'est-à-dire la réponse du sol en fonction de la fréquence. Dans une même ville, les accélérations peuvent varier d'un facteur 10 selon que l'on est au contact du rocher ou sur des sédiments. La topographie joue également un rôle important. Ces phénomènes ont été observés par notre équipe à Lourdes, et ont justifié la mise en place par la municipalité d'un Plan de prévention des risques sismiques (PPR). Une étude est en cours à Bagnères-de-Bigorre, pour évaluer les effets topographiques dus à la vallée. L'analyse des réponses des bâtiments va maintenant compléter celle des réponses des sols. A cette fin, un immeuble à Lourdes (la Tour de l'Ophite) a été instrumenté avec des accéléromètres à différents niveaux. Depuis 2005, la France a mis en place le "Plan Séisme", pour lequel les Hautes-Pyrénées sont un département pilote. A la suite de l'élaboration du PPR de Lourdes, la coopération entre scientifiques et responsables de la sécurité publique (préfecture et DDE, en particulier) a conduit à l'élaboration de documents d'information à destination des métiers du bâtiment, des enseignants et du grand public.

Contact : calvet@ntp.obs-mip.fr

Ouvrage de vulgarisation : Souriau, A. et Sylvander, M., 2004. Les séismes dans les Pyrénées, Loubatières, Toulouse, 192 pp.



>>> Annie SOURIAU, directeur de recherche CNRS et Marie CALVET, physicien adjoint, chercheurs au Laboratoire "dynamique terrestre et planétaire" (unité mixte UPS/CNRS) de l'Observatoire Midi-Pyrénées



>>> Réseau Accélérométrique Permanent, superposé à la sismicité instrumentale depuis 1989, et aux principaux séismes historiques

Pourquoi il y a moins d'éclairs le week-end ?



>>> Sylvain COQUILLAT, professeur UPS et Serge SOULA, physicien des observatoires, chercheurs au laboratoire d'Aérodologie (unité mixte UPS/CNRS)

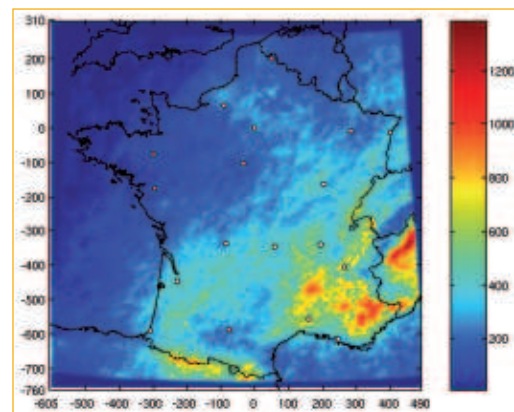
Quelles conditions favorisent la production d'éclairs ? Pourquoi les villes sont-elles plus touchées ? Où sont les risques les plus élevés ? Répondre à ces questions nécessite de décortiquer les phénomènes électriques qui animent les nuages d'orage.

La foudre est un phénomène de décharge électrique atmosphérique qui peut se produire dans certaines conditions liées aux nuages d'orage appelés cumulonimbus. Elle inclut plusieurs types d'éclairs : éclairs nuage-sol lorsqu'ils atteignent le sol, éclairs intra-nuage, nuage-air, inter-nuage, selon qu'ils restent dans le nuage, qu'ils sortent du nuage, qu'ils sortent et reviennent au nuage, respectivement. Depuis une vingtaine d'années des décharges électriques ont même été observées bien au-dessus des orages jusqu'à 90 km d'altitude. On les appelle les TLEs (Transient Luminous Events) et on les classe en plusieurs types suivant leur forme : sprites, elves, jets... Les travaux de recherche de l'Equipe d'électricité atmosphérique du Laboratoire d'Aérodologie se focalisent actuellement sur les conditions de déclenchement des décharges à l'intérieur des cellules orageuses et sur l'observation et l'analyse des conditions de production des TLEs.

Le risque majeur lié aux nuages d'orage, outre les effets mécaniques des vents violents et des fortes précipitations de pluie ou de grêle, réside dans l'intensité et la fréquence des éclairs dont le courant de décharge peut dépasser la centaine de kilo ampères et frapper les structures, les personnes, les avions de façon erratique. Les observations satellitaires ont permis d'évaluer le taux global d'éclair à 45 éclairs par seconde. En France on compte une dizaine de victimes de la foudre par an. Pour éviter d'être frappé par la foudre, il faut éviter de rester à l'extérieur par temps d'orage et notamment il faut s'éloigner des crêtes, des objets proéminents (arbres, pylônes...) mais aussi des zones lisses et plates afin d'éviter de constituer soi-même un "paratonnerre" à cause de l'effet de pointe.

Le sud le plus touché

La production d'éclairs est liée à la présence d'une forte population de particules de glace (cristaux, graupel...) propices à l'électrisation des nuages d'orage. Elle dépend également de l'intensité de la convection et de la durée de vie des cellules orageuses. Celles-ci sont gouvernées par les conditions thermodynamiques et dynamiques (température et vapeur d'eau au sol, instabilité verticale de l'atmosphère, cisaillement de vent en altitude, convergence des vents au sol...). Les données archivées du réseau Météorage (localisation et caractéristiques des éclairs nuage-sol)



>>> Nombre d'éclairs par pixel de 5 km x 5 km (pour les mois de juin à septembre de 1992 à 2007).

étudiées durant les périodes estivales (juin à octobre) de 1992 à 2007 montrent d'une part, que le sud de la France est plus touché que le nord à cause de conditions thermodynamiques plus propices, et d'autre part que les reliefs sont des lieux très foudroyés. Les influences dynamiques sont également perceptibles à travers la forte activité sur les monts du Vivarais qui intervient par flux maritime de sud, ou à travers la structure globale orientée du sud-ouest vers le nord-est comme les vents dominants.

Densité d'éclairs

Au-delà des influences plus "conventionnelles" citées précédemment, la production d'éclairs peut également être affectée par les émissions anthropiques. Les observations centrées autour de la région parisienne montrent une densité d'éclairs plus grande au-dessus de l'agglomération et sous le vent de celle-ci. En comparant les données entre les jours de semaine et les jours de week-end sur une longue période, ce qui permet de s'affranchir des effets du relief, de la dynamique, et de l'îlot de chaleur urbain, notre équipe a mis en évidence une plus faible production d'éclairs le week-end au-dessus et sous le vent de l'agglomération, probablement due à une plus faible émission d'aérosols d'origine anthropique le week-end.

Contact : sylvain.coquillat@aero.obs-mip.fr et serge.soula@aero.obs-mip.fr

Les sprites

Les sprites sont produits au-dessus des nuages d'orages de grande taille après un éclair nuage-sol positif qui neutralise une charge importante dans le nuage. Les elves (sorte d'anneaux lumineux de quelques centaines de km de diamètre) sont produits après des éclairs nuage-sol positifs ou négatifs très puissants (fort pic de courant). L'observation de ces phénomènes et la caractérisation des cellules orageuses qui les produisent font l'objet d'une activité importante de notre équipe dans le cadre du projet européen CAL.

dossier

S'attaquer aux risques de glissements de terrain

Glissements de terrain, coulées de boues, fissurations des constructions : les argiles gonflantes sont responsables de nombreuses catastrophes naturelles. Cartographier ce risque ainsi que les facteurs aggravants (sismicité, peuplement, etc) s'avère essentiel.

Elles gonflent avec l'humidité, et se rétractent et craquèlent en cas de sécheresse : les argiles gonflantes, très courantes dans le monde, sont traitres. Elles provoquent ainsi des mouvements de terrains avec de forts déplacements, tels que les glissements et les coulées de boues, ou sans déplacement important, lorsque la sécheresse a préalablement desséché l'argile (phénomènes de retrait-gonflement). Entre 1989 et 2000, le retrait-gonflement lié aux argiles a occasionné plus de 3 milliards d'euros de dégâts sur la construction en France. L'implication de ces argiles dans les glissements de terrain au niveau national est encore mal connue.

Pour éviter ces phénomènes, l'Etat a réalisé des cartes départementales d'aléas. Pour cela, des études cartographiques, des reconnaissances géologiques de sites, des analyses de caractérisation des argiles ont été réalisées. L'acquisition des données locales est coûteuse et, de ce fait, rarement utilisée pour la construction individuelle.

Imagerie multispectrale

L'un des objectifs du Laboratoire des mécanismes et transferts en géologie (LMTG) est de tester de nouvelles techniques d'analyse, basées sur l'étude du spectre infrarouge, moins coûteuses et surtout plus rapides à mettre en œuvre afin de déterminer les risques de retrait/gonflement des sols de notre région à différentes échelles. Ainsi les études de laboratoire sont associées à des mesures spectrométriques au radiomètre de terrain du visible à infrarouge et des reconstructions cartographiques régionales par de l'imagerie spatiale multispectrale (SPOT HRS et ASTER). Ces études sont soutenues par la région Midi-Pyrénées.

Un autre aspect de nos recherches porte sur les glissements de terrain et les principaux accélérateurs associés à ces phénomènes. Si certains sont très bien connus comme les variations d'humidité, les pentes, d'autres sont plus difficiles à évaluer comme l'effet des argiles gonflantes sur la déstructuration des sols,

l'influence de la sismicité sur la stabilité des pentes. Nos recherches ont amélioré la compréhension de l'effet de la sismicité sur les glissements de terrain en généralisant le modèle de Newmark (1965) en y intégrant l'aspect ondulatoire de la sismicité. Cette approche est primordiale dans l'étude des mégaglislements de terrain sur pente faible comme l'a montré l'étude du mégaglisement de Tarapaca au Nord Chili. Lors de cette étude on a pu démontrer que le seuil de déclenchement des glissements était bien plus faible avec le modèle que nous avons développé. Cette diminution du seuil de déclenchement tend donc à accroître le risque de glissement même pour de faibles séismes. Les cartes d'aléa basées sur ce modèle rendent ainsi mieux compte des observations de terrain. L'aspect déstructuration des sols par les argiles gonflantes est aussi exploré dans le cadre d'une thèse en partenariat avec la région et le BRGM.

Carte de vulnérabilité

Enfin, dans le cadre des programmes de recherche sur le sud-ouest de l'Europe (Espagne, Gibraltar, Portugal et sud de la France) nous nous attaquons à la gestion du risque de mouvement de terrain par des modélisations physique et/ou probabiliste en fonction de la qualité des données météorologique, pédologique, d'occupation des sols et des propriétés géotechniques. En collaboration avec des acteurs de sociologie et d'économie nous tenterons d'intégrer les informations sociétales et économiques dans des cartes de vulnérabilité et de risque. Ce programme se fait en collaboration entre plusieurs laboratoires français (GAME à Toulouse, le laboratoire régional de ponts et chaussées et le BRGM), des laboratoires espagnols (universités d'Oviedo, Cantabrie et Zaragoza et l'Institut géologique et minier) et portugais (universités de Porto et de Lisboa).



>>> De gauche à droite Jean-Claude SOULA, professeur à l'UPS ; Frédéric CHRISTOPHOUL et José DARROZES, maîtres de conférences à l'UPS et; Camille TRUCHE, doctorante, membres de l'équipe de recherche du LMTG (unité mixte UPS/CNRS/IRD).



>>> Route bloquée par un glissement de terrain

Contact : darrozes@lmtg.obs-mip.fr

Mieux prévoir les crues éclair



>>> Evelyne RICHARD, directrice de recherche CNRS au Laboratoire d'Aérodologie (unité mixte UPS/CNRS)

Le sud-est de la France est régulièrement victime de précipitations intenses qui conduisent à des inondations majeures en quelques heures. En collaboration avec Météo-France, le Laboratoire d'Aérodologie participe à l'amélioration de la prévision.

Parmi les catastrophes naturelles, les désastres d'origine hydro-météorologique occupent une place importante : tempêtes et inondations constituent à eux seuls et presque à part égale 60 % des catastrophes naturelles. Depuis plusieurs années, le Laboratoire d'Aérodologie, en étroite collaboration avec les équipes de recherche de Météo-France, cherche à mieux comprendre et à mieux prévoir ces situations météorologiques à haut risque.

Les précipitations intenses et les mécanismes conduisant à la génération des crues éclair font actuellement l'objet d'études intensives. Ces crues sont des phénomènes rapides où la montée des eaux à leur niveau d'alerte intervient en seulement quelques heures après le pic de précipitation. Du fait de leur caractère soudain, il est impossible de mettre en place une protection efficace à moins de prévoir ces crues bien avant que la précipitation se produise. L'anticipation des crues éclair passe donc nécessairement par le développement de systèmes de prévision couplé hydro-météorologique dans lesquels actuellement la prévision de la précipitation constitue la plus grande source d'incertitude.

600 à 700 mm en quelques jours

Les pourtours du bassin méditerranéen occidental et surtout ses parties montagneuses sont à la saison automnale régulièrement affectés par des crues éclairs. Des épisodes extrêmes tels que les inondations catastrophiques d'Alger (Novembre 2001, des centaines de victimes) ou encore les crues récurrentes et dévastatrices de l'Ouvèze, des Gardons ou du Vidourle dans le sud-est de la France sont tristement célèbres. Bien que l'intensité de la précipitation ne soit pas le meilleur indicateur de l'ampleur des dégâts, tous ces épisodes ont en commun l'occurrence de précipitations intenses, très localisées et dont les cumuls ont dépassé les 200 mm pour atteindre parfois des niveaux exceptionnels de 600 à 700 mm en quelques jours.

Prévision de haute résolution

La prévision de telles précipitations repose sur des modèles numériques complexes de plus en plus performants et sur lesquelles les équipes toulousaines ont beaucoup travaillé. Ces modèles intègrent l'état



>>> Le sud-est de la France: une zone à haut risque fréquemment affectée par des crues éclair extrêmement dévastatrices.

de l'art des connaissances en matière de physique de l'atmosphère et fonctionnent depuis peu à des résolutions spatiales approchant le kilomètre, résolutions qui permettent de bien décrire tant la structure fine du relief que le détail des phénomènes orageux. Malgré ces progrès récents, de nombreuses difficultés subsistent. D'une part la nature chaotique de l'atmosphère impose une limite intrinsèque à la prévisibilité de ces événements. D'autre part la connaissance imprécise de l'état de l'atmosphère entraîne des erreurs de conditions initiales. A défaut de pouvoir complètement éliminer ces sources d'erreur, il est essentiel de quantifier les incertitudes qui leur sont associées. Ainsi plutôt que de fournir une prévision déterministe par nature incertaine, on cherchera à construire un système de prévisions explorant l'ensemble des solutions possibles et dont l'analyse des résultats s'effectuera en termes probabilistes.

Ce concept de prévision d'ensemble a été largement utilisé par les modèles globaux dont sont issues les prévisions météorologiques à moyen terme. Sa transposition aux prévisions de haute résolution et de courte échéance constitue un réel défi. Un tel système sera développé et mis en œuvre dans le cadre du projet HYMEX (HYdrological cycle in Mediterranean EXperiment, <http://www.cnr.meteo.fr/hymex/>) dédié à l'étude cycle hydrologique de la Méditerranée initiative française autour de laquelle se mobilise une vaste communauté nationale et internationale, et tout particulièrement notre équipe.

Contact : rice@aero.obs-mip.fr